

2. Brinza V. V., Galiev Zh. K., Galieva N. V., Zhdankin N. A., Ilicheva E. V. et al. Scientific Advance in the Area of Subsoil Use Economy and Mineral Mining and Metallurgical Industry Management in Russia. Moscow : NITU MISIS, 2017. 402 p.
3. Nazarova Z. M., Kosyanov V. A., Zabaikin Yu. V., Borisovich V. T., Prokofieva L. M. et al. Geologic Exploration Economy. Moscow : Optimus, 2018. 400 p.
4. Litvintsev V. S. Basic directions of the strategy of mastering of anthropogenic ore and placer deposits of noble metals. *Eurasian Mining*. 2014. No. 1. pp. 7–11.
5. Reproduction of Use of Mineral Resources: Russian Federation State Program. Approved by RF Government Resolution No. 322 dated April 15, 2014. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499091758> (accessed: 15.06.2018).
6. Project Base: Industrial Infrastructure. Rosinfra Infrastructure Project Support Platform. Available at: <http://www.pppi.ru/projects?sphere=745> (accessed: 08.04.2018).
7. Gabriel D. B., Delvin R. N. Market Update: A Review of the US Public Private Partnership (P3) Sector in 2014. Thomson Reuters, 2015. 18 p.
8. Saussier S. Public–private partnerships. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2013. Vol. 89. pp. 143–144.
9. Industrial Geology Development Strategy up to 2030. Approved by the RF Decree No. 1039-r dated June 21, 2006. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902222865> (accessed: 05.04.2018).
10. Kalinin A. R. Modern ecological and economic aspects of energy efficiency in the areas of sound nature management. *Ekonomika v promyshlennosti*. 2015. No. 3. pp. 42–46.
11. Mineral Supply Base Strategy of the Russian Federation up to 2035–Project. Available at: <http://www.mineral.ru/Analytics/rutrend/170/562/RFMSBStrategy-Project2018-01-19.pdf> (accessed: 05.04.2018).
12. The Minerals and Metals Policy of the Government of Canada. Partnerships for Sustainable Development. Minister of Public Works and Government Services Canada, 1996. 35 p.
13. Statistics. United Nations Economic Commission for Europe. Available at: [http://www.unece.org/stats/stats\\_h.html](http://www.unece.org/stats/stats_h.html) (accessed: 03.04.2018).
14. Mineral Commodity Summaries 2017. Reston : U.S. Geological Survey, 2017. 206 p.

УДК 622.24.051.62

## ВЛИЯНИЕ УГЛА УСТАНОВКИ РЕЗЦА PDC ЛОПАСТНОГО ДОЛОТА НА МЕХАНИЧЕСКУЮ СКОРОСТЬ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В ПЕРЕМЕЖАЮЩИХСЯ ПО ТВЕРДОСТИ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

**Ю. А. АРСЕНТЬЕВ**, доцент, канд. техн. наук, [arsentev1956@yandex.ru](mailto:arsentev1956@yandex.ru)

**Н. В. СОЛОВЬЕВ**, зав. кафедрой, проф., д-р техн. наук

**А. П. НАЗАРОВ**, зав. кафедрой, доцент, канд. техн. наук

**А. М. ЛИМИТОВСКИЙ**, проф., д-р техн. наук.

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

### Введение

Одной из важных задач, стоящих перед горной промышленностью, является повышение производительности применяемого оборудования (бурового, горнопроходческого, добычного). При работе горных машин в неоднородном по крепости породном массиве их производительность зависит от конструктивных показателей, к числу которых относятся качество и пространственное размещение резцов на исполнительных органах машин. На совершенствование конструкции резцов направлены усилия специалистов в области горного машиностроения в России и за рубежом [1–10]. Этот вопрос в данной статье рассматривается применительно к буровому оборудованию.

Традиционно при бурении скважин различного назначения используются лопастные долота, армированные вставками вольфрамкобальтовых сплавов типа ВК-6, ВК-8, ВК-10, ВК-12, ВК-14 и другие.

В последнее время эти сплавы неоднократно модернизировали за счет использования порошков более мелкого помола при спекании, присадок в виде 2 % оксида тантала и др. Однако такая модернизация сплавов ВК не привела к техническому прорыву. Таковым стало создание поколения новых сверхтвердых материалов (славутич, твисал, эльбор), а также синтетических алмазов и их серийное производство. Стоит отметить, что в ряде сплавов используют комбинацию с синтетическими алмазами. Ярким примером в этом направлении является создание сплава стратолак, который выпускается под маркой АТП (PDC). При этом резцы PDC позволяют в значительной степени повы-

*Рассмотрены вопросы теоретического определения технико-технологических показателей эффективности бурения скважин лопастными долотами PDC. Выявлен теоретически и подтвержден результатами проведения стендовых испытаний оптимальный диапазон угла установки резцов PDC.*

**Ключевые слова:** долото PDC, бурение, перемежающиеся по твердости горные породы, эффективность процесса бурения, угол резания, резцы PDC, силовые параметры, режим бурения, механическая скорость бурения.

**DOI:** 10.17580/gzh.2018.11.08

сить механическую и рейсовую скорости бурения в перемежающихся по твердости породах с включением прослоев пород средней категории твердости и снизить расходы на бурение [11–16].

Вместе с тем приходится констатировать, что далеко не все вопросы оснащения долот резцами PDC решены, например определение оптимального диапазона угла установки резцов PDC в зависимости от свойств горных пород; выявление зависимостей, определяющих влияние угла установки резцов на величину технико-технологических показателей бурения скважин долотами PDC.

### Теоретические основы расчета технико-технологических показателей эффективности бурения скважин лопастными долотами PDC

Среди основных технико-технологических показателей эффективности бурения скважин следует выделить продолжительность бурения долотом в режиме резания, проходку на долото в режиме резания и механическую скорость бурения в указанном режиме разрушения породы. Попытка аналитически их определить представляет несомненный практический интерес. Для этой цели рассмотрим лопастное долото, оснащенное резцами PDC круговой формы диаметром  $d_p$ , установленных под отрицательным углом  $\alpha$  к забой (рис. 1).



**Рис. 1. Долота PDC с отрицательным углом установки резцов**

Пусть данное долото имеет  $m$  лопастей, каждая из которых оснащена  $i$ -м числом одинаковых резцов, составляющих режущую кромку лопасти.

Приложим к долоту осевую нагрузку  $P_z$ , представляющую собой произведение осевой силы, приходящейся на резец  $P_p$ , числа лопастей  $m$  и резцов  $i$ , т. е.  $P_z = P_p m i$ .

Допустим, что под действием осевой силы  $P_p$   $i$  лопасть долота погружается в породу на глубину, равную  $\delta_p$ , величина которой определяется формулой вида [17]

$$\delta_p = \left( \frac{P_p}{2J\sigma_{см}(\text{ctg}\alpha + \text{tg}\alpha)(1 + \text{tg}\varphi)\sqrt{d_p}} \right)^{2/3}, \quad (1)$$

где  $J = (1 + f\sin 2\alpha)$ ;  $P_p$  – осевая сила на резец, Н;  $\varphi$  – угол внутреннего трения, град.;  $\sigma_{см}$  – напряжение смятия, МПа.

Однако в процессе работы резец притупляется. Если притупление реза измерять износом по высоте  $y_0$ , то глубину внедрения притупленного реза  $\delta_p^T$  или одной лопасти можно выразить как разность  $\delta_p - y_0$  (см. **рис. 2, а**), а проходку долота с притупленными резцами за 1 оборот как  $h_0^T = \delta_p m - y$ .

При этом соответствующее значение проходки  $h_0^T$  через  $t_1$  минут от начала бурения, с учетом величины притупления резцов долота, найденной с помощью теории триботехники, будет равно

$$h_0^T = \delta_p m - \sqrt{\frac{2k_n \pi f_g P_z n t_1 \cos \alpha_i}{(\text{ctg}\alpha + \text{tg}\alpha)m}}. \quad (2)$$

где  $k_n$  – коэффициент объемного износа материала реза при трении по данной породе,  $\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{м}$ ;  $f_g$  – коэффициент трения материала реза долота о породу;  $\alpha_i$  – угол между касательной, проведенной в  $i$ -й точке к профилю лопасти долота, и горизонталью,  $i$  точка к профилю лопасти долота, и горизонталью, град.

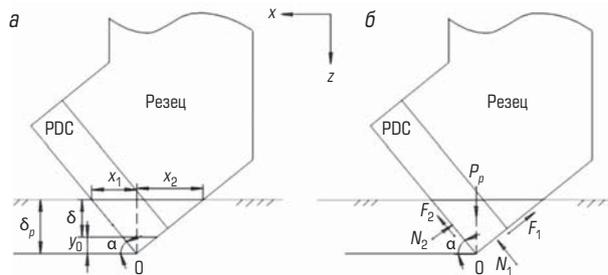
Но так как  $y$  является нелинейной непрерывной функцией времени, то очевидно, что проходка за время от 0 до  $t_1$  может быть получена интегрированием в этих пределах выражения

$$dh = h_0^T n dt_1. \quad (3)$$

Тогда проходка долота, которое еще не использовалось в процессе бурения скважины,  $h$  за время  $t_1$  будет равна

$$h_{t_1} = \delta_p m n t_1 - \frac{2}{3} n t_1 \sqrt{\frac{2k_n \pi f_g n P_z t_1 \cos \alpha_i}{(\text{ctg}\alpha + \text{tg}\alpha)m}}. \quad (4)$$

При значительном притуплении резцов будет иметь место не резание породы, а ее истирание, так как удельное давление от



**Рис. 2. Расчетная схема:**

*а* – притупления реза; *б* – действия сил на резец при его внедрении в породу

осевой нагрузки  $P_z$  будет меньше, чем критическое напряжение смятия  $\sigma_{см}$  для данной породы, и погружение долота будет происходить только за счет упругой деформации породы.

Очевидно, что  $h_0^T$  обращается в нуль, когда  $\delta_p m = y$  (см. **рис. 2, а**):

$$\delta_p m = y = \sqrt{\frac{2k_n \pi f_g P_z n t_1 \cos \alpha_i}{(\text{ctg}\alpha + \text{tg}\alpha)m}}. \quad (5)$$

Решая выражение (5) относительно  $t_1$ , можно определить время, в течение которого возможно бурение в режиме резания, а после истечения этого времени режим резания перейдет в режим истирания породы. Обозначая  $t_1 = t_n$ , получим возможное время бурения в режиме резания

$$t_1 = t_n = \frac{\delta_p^2 m^3 (\text{ctg}\alpha + \text{tg}\alpha)}{2k_n \pi f_g P_z n \cos \alpha_i}. \quad (6)$$

Тогда проходку новым долотом в течение всего возможного времени  $t_n$  можно будет определить, подставив значение  $t_n$  из выражения (6) в (4). После простейших преобразований окончательно имеем

$$h_{0-t_n} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\delta_p^2 m^4 (\text{ctg}\alpha + \text{tg}\alpha)}{k_n \pi f_g P_z \cos \alpha_i}. \quad (7)$$

Влияние каждого фактора, входящего в формулу (7), на проходку за время от 0 до  $t_n$  очевидно.

В свою очередь средняя механическая скорость бурения  $V_{мех}$  за время  $t_n$  будет определяться как отношение результатов (6) и (5) или с учетом преобразований выражением

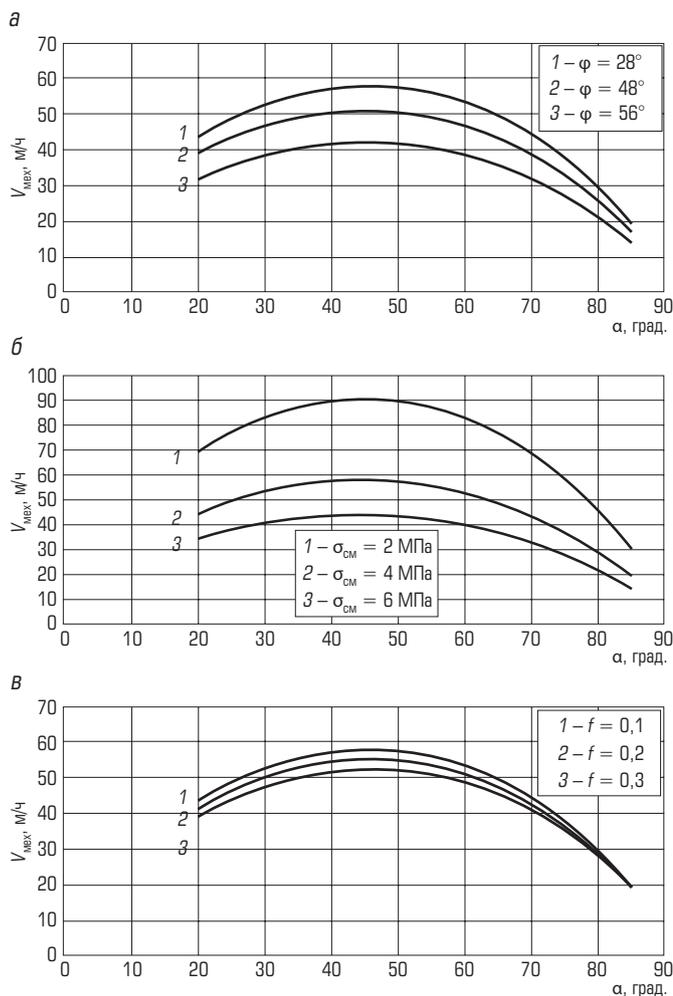
$$V_{мех} = 20\delta_p m n, \text{ м/ч}, \quad (8)$$

где  $n$  – частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ .

С учетом полученного выражения (8) построены зависимости механической скорости  $V_{мех}$  от угла установки  $\alpha$  реза (**рис. 3**). При этом в качестве исходных значений параметров, составляющих указанное выражение, принимаем:  $P_z = 105000$  Н;  $D = 0,311$  м;  $d_p = 0,025$  м;  $m = 5$ ;  $n = 130$   $\text{мин}^{-1}$ ;  $\theta_f = 8^\circ$ ;  $\alpha_1 = 19,5^\circ$ .

На основании анализа формул (6)–(8) и графиков, показанных на **рис. 3**, можно сделать следующие выводы:

- при увеличении частоты вращения  $n$  продолжительность работы долота на забое уменьшается, но в такой же степени возрастает механическая скорость бурения, а рейсовая скорость остается постоянной;



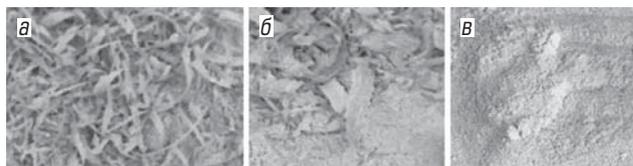
**Рис. 3. Зависимости механической скорости  $V_{\text{мех}}$  бурения от угла установки  $\alpha$  резца PDC при различных значениях:**  
 а – угла внутреннего трения  $\varphi$ ; б – напряжения смятия  $\sigma_{\text{см}}$ ;  
 в – коэффициента трения  $f$

- увеличение механической скорости бурения при  $\alpha = 45^\circ$  до 31 % выше таковой при  $\alpha = 70^\circ$  свидетельствует о том, что применяемая в настоящее время схема с отрицательным углом установки резцов PDC  $\alpha = 70^\circ$  при бурении в перемежающихся по твердости горных породах малоэффективна;
- средняя механическая скорость бурения достигает максимального значения при  $\alpha = 40 \div 50^\circ$ .

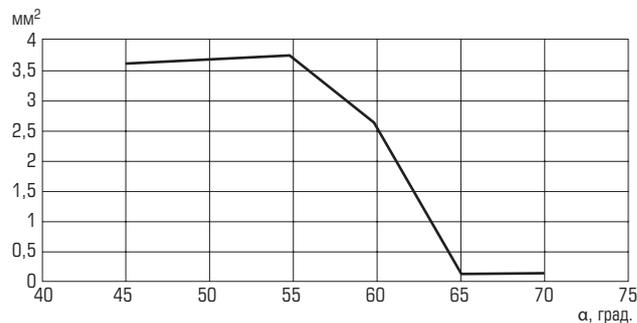
**Результаты стендовых испытаний**

Для подтверждения теоретически полученных выводов в лаборатории кафедры механизации, автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ МГРИ – РГГУ были проведены стендовые испытания.

Для исследования использовали образцы из глинистого сланца в виде цилиндра с плоским торцом диаметром 90 мм. К началу проведения эксперимента были подготовлены пять опытных образцов горной породы. Для каждого опытного образца выполнена серия испытаний для пяти характерных значений угла



**Рис. 4. Форма шлама в зависимости от угла установки резца PDC:**  
 а – при  $\alpha = 45^\circ$ ; б – при  $\alpha = 55^\circ$ ; в – при  $\alpha \geq 65^\circ$



**Рис. 5. Зависимость изменения площади срезаемой стружки от угла установки  $\alpha$  резца PDC**

установки резца PDC:  $\alpha = 45^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ , при этом при повторной серии испытаний опытные образцы горной породы обновляли.

В процессе работы резца PDC фотографировали продукты разрушения опытного образца породы. При этом измеряли форму и геометрические размеры шлама при различных значениях угла установки резца PDC (рис. 4). По результатам измерений также был построен график изменения площади срезаемой стружки в зависимости от угла установки  $\alpha$  резца PDC (рис. 5).

В целом стендовые испытания выявили следующее:

- рекомендуемый диапазон значений угла установки резца PDC  $\alpha = 45 \div 55^\circ$  позволяет получить шлам в виде широкой стружки (см. рис. 4, б), что соответствует наиболее энергетически совершенному режиму разрушения породы средней категории твердости – режиму резания-скалывания;
- при  $\alpha \geq 65^\circ$  шлам имеет порошкообразную форму, что подтверждает нецелесообразность применения схемы с отрицательным углом установки резцов PDC, равным  $\alpha = 70 \div 75^\circ$  в породах средней твердости, поскольку в этом случае реализуется энергозатратный режим разрушения – режим истирания породы.

**Заключение**

Таким образом, в процессе бурения скважин в перемежающихся по твердости горных породах рекомендуется использовать лопастные долота PDC с отрицательным углом установки резцов в диапазоне значений  $\alpha = 45 \div 55^\circ$ , при которых достигается минимальная интенсивность изнашивания торцевой поверхности резца и реализуется максимальная механическая скорость бурения.

Библиографический список

1. Семенченко А. К., Шабаетов О. Е., Семенченко Д. А., Хиценко Н. В. Влияние формы, параметров и режимов работы аксиальной коронки на эффективность процесса разрушения забоя // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 3. С. 333–338.
2. Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Борисов А. Ю., Мухортников С. Г. Совершенствование конструкции продольно-осевых коронок проходческого комбайна избирательного действия // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 5. С. 2–6.
3. Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Цехин А. М., Борисов А. Ю., Бурков П. В. и др. Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин. – Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2013. – 296 с.
4. Кантович Л. И., Мерзляков В. Г. Горные машины и оборудование для подземных горных работ : учеб. пособие. – М. : Изд-во МГУ, 2014. – 408 с.
5. Маметьев Л. Е. Разработка исполнительных органов и инструмента для стреловых проходческих комбайнов и буршнковых машин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 5. С. 56–63.
6. Соловьев Н. В., Арсентьев Ю. А., Нгуен Т. Х., Курбанов Х. Н. Теоретический метод обоснования конструкторских параметров долот режуще-скалывающего действия // Инженер-нефтяник. 2015. № 3. С. 16–24.
7. Жабин А. Б., Поляков Ан. В., Поляков Ал. В., Мурашов В. В. Оптимизация расположения резов на коронках исполнительных органов проходческих комбайнов // Горный журнал. 2016. № 12. С. 78–82. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.16
8. Прокопенко С. А., Лудзис В. С., Курзина И. А. Разработка комбайновых резов нового класса // Горный журнал. 2017. № 2. С. 75–78. DOI: 10.17580/gzh.2017.02.14

9. Liu X., Liu S., Cui X., Tang P. Interference model of conical pick in cutting process // Journal of Vibroengineering. 2014. Vol. 16. Iss. 1. P. 103–115.
10. Li X., Huang B., Ma G., Jiang S. Intelligent design and simulation of roadheader cutting head // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 2014. Vol. 6. Iss. 6. P. 2140–2146.
11. Bejarano C. A., Palomo R., Cortina C. J., Perez G. Case History – Application of a New PDC Bit Design in Deep Cretaceous and Jurassic Hard Formations in Southern Mexico // International Oil Conference and Exhibition in Mexico. – Cancun, 2006.
12. Нескоромных В. В., Борисов К. И. Аналитическое исследование процесса резания-скалывания горной породы долотом с режущими PDC // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 1. С. 191–195.
13. Scott D., Hughes B. A bit of history: Overcoming early setbacks, PDC bits now drill 90%-plus of worldwide footage // Drilling Contractor. 2015. July/August.
14. Jayesh R. J., Gregory R., Benjamin B., Chaitanya V., Volker P. et al. A Step Change in Drill-Bit Technology With Self-Adjusting Polycrystalline-Diamond-Compact Bits // SPE Drilling & Completion. 2016. Vol. 31. Iss. 4. DOI: 10.2118/178815-PA
15. Izbinski K., Patel S. G., VanDeven A. Innovative Dual-Chamfer Edge Technology Leads to Performance Gains in PDC Bits // SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition. – London, 2015.
16. Hsieh L., Endress A. New drill bits utilize unique cutting structures, cutter element shapes, advanced modeling software to increase ROP, control, durability // Drilling Contractor. 2015. July/August.
17. Арсентьев Ю. А., Соловьев Н. В., Нгуен Тьен Хунг, Нгуен Тхе Винь. Теоретическое обоснование оптимального диапазона угла установки резов долот PDC для бурения в перемежающихся по твердости горных породах месторождения «Южный Дракон и Доймой» (СРВ) // Инженер-нефтяник. 2017. № 2. С. 12–16. 

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 11, pp. 47–50  
DOI: 10.17580/gzh.2018.11.08

Effect of PDC cutter rake on penetration rate of wing bit drilling in variable hardness rocks

Information about authors

**Yu. A. Arsentiev**<sup>1</sup>, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, arsentev1956@yandex.ru  
**N. V. Soloviev**<sup>1</sup>, Head of Chair, Professor, Doctor of Engineering Sciences  
**A. P. Nazarov**<sup>1</sup>, Acting Head of Chair, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences  
**A. M. Limitovsky**<sup>1</sup>, Professor, Doctor of Engineering Sciences

<sup>1</sup>Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

Abstract

Mining industry conventionally uses wing bits with tungsten carbide reinforcement for various purpose drilling. Recently tungsten/cobalt alloys have many times been modified with fine powders, additives of 2 % tantalum oxide, etc. However, the modifications enjoy no technical breakthrough. The advance has been reached with a new generation of extra-hard materials (slavutich, tvisal, elbor) as well as synthetic diamonds, and initiation of their series production. A shining example is the stratopaks alloy produced under brand PDC. PDC cutters enable considerable increase in the penetration rate and run speed of drilling in variable hardness rocks with medium hard interlayers at the considerably reduced cost. At the same time, some problems connected with PDC cutters are yet unsolved, e.g. optimization of PDC cutter rake with regard to properties of rocks. This problem is solved in the given study. After completing theoretical researches and bench testing, it has been found that: the recommend range of PDC cutter back-rake angle of 45–55° produces drilling cuttings in the form of chips, which conforms with the energy-best mode of breaking medium-hardness rocks—the mode of cutting-chipping; with the back-range angle more than 65°, drilling cuttings are power-like, which proves inefficiency of PDC cutter setup with the back-rake angle of 70–75° in medium-hardness rocks as this conforms with the energy-consuming mode of rock breaking—rubbing. Thus, in variable hardness rock drilling, it is recommended to use wing drill bits with PDC cutters set at the back-rake angle of 45–55° to reach minimum wearing of the front face of cutters and maximum penetration rate.

**Keywords:** drill bit, drilling, variable hardness rocks, drilling efficiency, back-rake angle, PDC cutters, power characteristics, drilling mode, penetration rate.

References

1. Semenchenko A. K., Shabaev O. E., Semenchenko D. A., Khitsenko N. V. Influence of shape, parameters and operation modes of axial bit on drift destruction efficiency. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2006. No. 3. pp. 333–338.

2. Khoreshok A. A., Mametyev L. E., Borisov A. Yu., Muxortnikov S. G. Perfecting of a design of longitudinal-axial bits of the road heading machine of electoral operating. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2010. No. 5. pp. 2–6.
3. Khoreshok A. A., Mametyev L. E., Tsekhin A. M., Borisov A. Yu., Burkov P. V. et al. Manufacture and Operation of Rock-Breaking Tools of Mining Machines. Tomsk: TPU, 2013. 296 p.
4. Kantovich L. I., Merzlyakov V. G. Underground Mining Machines and Equipment : Tutorial. Moscow : MGGU, 2014. 408 p.
5. Mametyev L. E. Development of effectors and tools for boom-type roadheaders and auger machines. *Vestnik of Kuzbass State Technical University*. 2015. No. 5. pp. 56–63.
6. Solov'ev N. V., Arsent'ev Ju. A., Nguen T. H., Kurbanov H. N. Thinking of parameters for cutting-shearing type drilling bit design. *Inzhener-neftyanik*. 2015. No. 3. pp. 16–24.
7. Zhabin A. B., Polyakov An. V., Polyakov Al. V., Murashov V. V. Optimization of cutter pattern on cutting heads of continuous heading machines. *Gornyy Zhurnal*. 2016. No. 12. pp. 78–82. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.16
8. Prokopenko S. A., Ludzish V. S., Kurzina I. A. Design of new-class picks for cutter-loaders. *Gornyy Zhurnal*. 2017. No. 2. pp. 75–78. DOI: 10.17580/gzh.2017.02.14
9. Liu X., Liu S., Cui X., Tang P. Interference model of conical pick in cutting process. *Journal of Vibroengineering*. 2014. Vol. 16, Iss. 1. pp. 103–115.
10. Li X., Huang B., Ma G., Jiang S. Intelligent design and simulation of roadheader cutting head. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 2014. Vol. 6, Iss. 6. pp. 2140–2146.
11. Bejarano C. A., Palomo R., Cortina C. J., Perez G. Case history – Application of a new PDC Bit design in deep Cretaceous and Jurassic hard formations in Southern Mexico. *International Oil Conference and Exhibition in Mexico*. Cancun, 2006.
12. Neskoromykh V. V., Borisov K. I. Analysis of rock cutting—chipping mode by PDC drill bits. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2013. Vol. 323, No. 1. pp. 191–195.
13. Scott D., Hughes B. A bit of history: Overcoming early setbacks, PDC bits now drill 90%-plus of worldwide footage. *Drilling Contractor*. 2015. July/August.
14. Jayesh R. J., Gregory R., Benjamin B., Chaitanya V., Volker P. et al. A step change in drill-bit technology with self-adjusting polycrystalline-diamond-compact bits. *SPE Drilling & Completion*. 2016. Vol. 31, Iss. 4. DOI: 10.2118/178815-PA
15. Izbinski K., Patel S. G., VanDeven A. Innovative dual-chamfer edge technology leads to performance gains in PDC bits. *SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition*. London, 2015.
16. Hsieh L., Endress A. New drill bits utilize unique cutting structures, cutter element shapes, advanced modeling software to increase ROP, control, durability. *Drilling Contractor*. 2015. July/August.
17. Arsent'ev Ju. A., Solov'ev N. V., Nguen Tien Hung, Nguen The Vin'. Theoretical justification of the optimum range of the angle of the cutters of PDC bits for drilling in alternating in hardness rocks field South Dragon and Moi (Vietnam). *Inzhener-neftyanik*. 2017. No. 2. pp. 12–16.